杨树上云斑天牛种群的空间格局及抽样技术

李建庆[1,2]，杨忠岐[3,*]，张雅林[1]，梅增霞[2]
（1. 西北农林科技大学植物保护学院，陕西杨凌 712100；2. 滨州学院黄河三角洲生态环境研究中心，山东滨州 256603；
3. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所，国家林业局森林保护学重点实验室，北京 10091）

摘要：云斑天牛 *Batocera horsfieldi* 是我国南方杨树的重要蛀干害虫，研究云斑天牛种群的空间格局和抽样技术，可为该虫的危害调查与防治提供理论依据。应用 Taylor 的幂法则、Iwao m^*-m 回归分析法及 6 个聚集指标，对云斑天牛种群的卵、幼虫、蛹或成虫的空间分布型和抽样技术进行了研究，并做了影响因素分析。结果表明：云斑天牛的卵、幼虫、蛹或成虫在杨树上均呈聚集分布，分布的基本成分是个体群，其聚集性随密度的增加而增大。运用 Iwao m^*-m 回归中的两个参数 α 和 β 值，计算出了在不同精度下以刻槽、排粪孔和羽化孔为防治指标时的理论抽样数据表及序贯抽样数据表，生产中可查阅使用。

关键词：云斑天牛；空间分布；抽样技术；防治指标；杨树
中图分类号：Q968.1　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2009)08-0860-07

Spatial distribution pattern and sampling technique for *Batocera horsfieldi* (Coleoptera: Cerambycidae) in poplar

LI Jian-Qing[1,2], YANG Zhong-Qi[3,*], ZHANG Ya-Lin[1], MEI Zeng-Xia[2] (1. College of Plant Protection, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Research Center on Eco-environments of Yellow River Delta, Binzhou University, Binzhou, Shandong 256603, China; 3. Key Laboratory of Forest Protection of State Forestry Administration, Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: *Batocera horsfieldi* is an important poplar stem-borer in south China. Studies on spatial distribution pattern and sampling technique can provide theoretical base for the damage survey and control of *B. horsfieldi* in poplars. In the study, the spatial distribution pattern of egg, larva, pupa or adult of *B. horsfieldi* in poplars was analyzed with Taylor's power law, Iwao's distribution function, and six aggregation indexes. The results showed that the spatial distribution pattern of egg, larva, pupa or adult of *B. horsfieldi* in poplars was all aggregated, and the basic component of the distribution was individual colony, and the aggregation intensity was increased with population density. By using the parameters α and β in Iwao's m^*-m regression equation, the optimal and sequential sampling numbers when the oviposition incisions, frass holes and emergence holes were selected as control indexes were determined and can be applied in the field control.

Key words: *Batocera horsfieldi*; spatial distribution; sampling technique; control indexes; poplar

云斑天牛 *Batocera horsfieldi* 隶属于鞘翅目(Coleoptera)天牛科(Cerambycidae)，又名云斑白条天牛，是我国重要林木蛀干害虫，危害杨树 *Populus* spp.、核桃 *Juglans regia* 等多种树木。自上世纪 90 年代以来，黑杨派南方型杨树在我国南方的江汉平原地区大量种植，随杨树种植面积的扩大，云斑天牛种群数量也随之很快上升，危害日益严重，已成为当地杨树的重要蛀干害虫，主要在树干内部钻蛀危害，降低木材质量和生长速度，严重时可致树干风折死亡。

对昆虫分布型及抽样技术的研究很多，但多局限于某一阶元空间和某一虫态的分析报道(Naranjo and Flint, 1995; Kawai and Haque, 2004; 张锋等, 2006; 孙红霞等, 2007; 许翔等, 2008; 杨芳等,

基金项目：“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD08A12)；山东省自然科学基金项目(Q2008D05)
作者简介：李建庆，男，1977 年生，博士研究生，讲师，从事昆虫生态及害虫生物防治研究，Tel.: 0543-3190133; E-mail: lijianqing1977@126.com
*通讯作者 Author for correspondence, E-mail: yzhqi@caf.ac.cn
收稿日期 Received: 2009-01-03；接受日期 Accepted: 2009-06-09

2008），对某一种群多个虫态的相关研究较少。目前已有对危害杨树、桑树 *Morus alba* 和核桃上云斑天牛幼虫的空间分布型的报道，空间格局均表现为聚集分布（张世权等，1992；吴开明等，1995；梅爱华，1997）。本文以云斑天牛在杨树上的产卵刻槽、排粪孔和羽化孔为调查指标，统计分析了云斑天牛种群的卵、幼虫、蛹或成虫的空间格局和抽样技术，旨在揭示云斑天牛种群在杨树上的空间结构，为该虫的危害调查和防治提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　样地概况

研究样地位于湖南省岳阳市的城陵矶和君山（29°23′～29°27′N，112°55′～113°08′E）。岳阳地处洞庭湖平原，紧靠长江，属亚热带气候，年均降水量为 1 300 mm。四季分明，1 月平均气温 3.3℃，7 月平均气温 30.2℃，年均气温为 17℃，年日照 1 792 h，无霜期 277 d。

1.2　调查方法

根据云斑天牛在杨树上危害程度和分布状况，选择了有代表性的试验标准地 5 块，即公路林、渠道林、村庄林各 1 块，片林 2 块，面积约 1.0～1.5 hm^2。应用整片抽样法调查每株杨树上的云斑天牛的刻槽、排粪孔和羽化孔的数量，分别代表云斑天牛的卵、幼虫和蛹或成虫的虫口数；调查时间为 2007 年 6 月 17－20 日。

1.3　分布型的测定

采用聚集指标法（徐汝梅和成新跃，2005），其主要指标有：丛生指标（I）；聚集性指标（m^*/m），m^* 平均拥挤度，m 为平均密度；Cassie 指标（Ca）；扩散系数（C）；负二项分布指标（K）。I 值大于 0，m^*/m 值大于 1，Ca 值大于 0，C 值大于 1，K 值大于 0 时为聚集分布。

Iwao m^*-m 回归分析法：m^* 和平均密度 m 的回归方程 $m^* = \alpha + \beta m$，截距 α 和回归系数 β 揭示种群分布特征，α 说明分布的基本成分按大小分布的平均拥挤度，β 说明基本成分的空间分布型。

Taylor 指数 b、Taylor 分析 S^2 与 m 的关系为：$S^2 = am^b$ 或 $\lg S^2 = \lg a + b\lg m$，式中，a 表示抽样因素，b 为聚集特征指数。

聚集均数：$\lambda = \frac{m\gamma}{2k}$，其中 m 为平均密度，k 为上述负二项分布参数，γ 为 χ^2 分布表中自由度等于 $2k$ 与 $P=0.05$ 所对应的 χ^2 值。若 $\lambda>2$，其聚集原因为昆虫本身的习性或环境因素引起，若 $\lambda<2$，其聚集原因是由于环境因素引起的。

本文数据分析采用 DPS（V8.50 版）数据处理系统进行统计分析。

2　结果与分析

2.1　调查样地受危害基本情况

调查样地的林分性质、胸径、受害情况见表 1。调查选取的 5 个样地的林分特征分别为公路林、片林、渠道林和村庄林，基本包括了目前杨树的人工林地。调查样地受害杨树的平均胸径在 9.61～14.46 cm之间，树龄在 2～3 年之间基本处于云斑天牛的适宜危害期。调查样地受害杨树的株均粪孔在 1.72～9.43 个之间，有虫株率在 34.90%～100% 之间，代表了不同危害程度的样地。

表 1　调查样地基本情况统计表

Table 1　Basic information of survey stands

样地号 Stand no.	林地性质 Forest property	调查株数 Number of investigated trees	平均胸径（cm） Average DBH	株均粪孔数 Average frass holes	有虫株率（%） Rate of infested trees
1	公路林 Highway forest	40	9.61	3.28	92.50
2	人工片林 Planted patch forest	63	11.50	1.25	34.90
3	人工片林 Planted patch forest	50	14.46	1.72	54.00
4	渠道林 Channel forest	40	15.60	9.43	100.00
5	村庄林 Village forest	40	16.20	8.93	92.50

2.2　云斑天牛种群在杨树上的空间分布型聚集度指标

对调查样点数据整理计算出云斑天牛在杨树上的产卵刻槽、排粪孔和羽化孔的各种聚集度指标值，结果分别见表 2。从统计结果可以看出，各个调查样点的云斑天牛产卵刻槽、排粪孔和羽化孔的 I 值

均大于0，m^*/m 值均大于1，Ca 值均大于0，C 值均大于1，K 值均大于0，根据聚集度指标的判定标准，云斑天牛产卵刻槽、排粪孔和羽化孔的分布格局均为聚集分布，即云斑天牛种群的卵、幼虫和蛹或成虫的空间格局均为聚集分布。

表2 云斑天牛在杨树上产卵刻槽、排粪孔和羽化孔的各项聚集度指标

Table 2 Aggregation index values of *Batocera horsfieldi* oviposition incisions, frass holes, emergence holes in the poplars

调查指标 Survey index	样地号 Stand no.	m	S^2	聚集指标 Aggregation index values					
				m^*	I	m^*/m	Ca	C	K
刻槽 Oviposition incisions	1	9.08	73.10	16.13	7.05	1.78	0.78	8.05	1.29
	2	1.70	5.44	3.90	2.20	2.29	1.29	3.20	0.77
	3	1.92	5.38	3.72	1.80	1.94	0.94	2.80	1.07
	4	21.40	83.01	24.26	2.88	1.14	0.14	3.88	7.41
	5	20.60	96.40	24.28	3.68	1.18	0.18	4.68	5.60
排粪孔 Frass holes	1	3.28	5.95	4.09	0.81	1.25	0.25	1.81	4.03
	2	1.25	5.55	4.69	3.44	3.75	2.75	4.44	0.36
	3	1.72	4.37	3.26	1.54	1.90	0.90	2.54	1.12
	4	9.43	36.7	12.32	2.89	1.31	0.31	3.89	3.26
	5	8.93	40.89	12.51	3.58	1.40	0.40	4.58	2.49
羽化孔 Emergence holes	1	0.90	1.12	1.14	0.24	1.27	0.27	1.24	3.68
	2	1.10	2.76	2.61	1.51	2.37	1.37	2.51	0.73
	3	0.44	0.70	1.03	0.59	2.34	1.34	1.59	0.74
	4	4.28	19.60	7.86	3.58	1.84	0.84	4.58	1.20
	5	3.95	17.89	7.48	3.53	1.89	0.89	4.53	1.12

负二项分布的参数值 K 是种群聚集度的重要参数，估计种群聚集度指标时，K 值与密度无关，K 值越小，种群聚集度越大，若 K 值趋于 ∞ 时(一般在8以上时)，则逼近 Poisson 分布，云斑天牛的产卵刻槽、排粪孔和羽化孔的聚集度指标 K 值(表2)均小于8，因此云斑天牛在杨树上的产卵刻槽、排粪孔和羽化孔的分布型均不符合 Poisson 分布，不是表现为均匀分布。通过计算各样点云斑天牛产卵刻槽、排粪孔和羽化孔的公共 K 值，可判断其是否符合负二项分布。经过计算，云斑天牛产卵刻槽的公共 K 值为2.48且按自由度为4，经 χ^2($\chi^2=95.63$)检验，其差异不显著($P>0.05$)；排粪孔的公共 K 值为2.02且按自由度为4，经 χ^2($\chi^2=329.28$)检验，其差异不显著($P>0.05$)；羽化孔的公共 K 值为1.04且按自由度为4，经 χ^2($\chi^2=2.59$)检验，其差异不显著($P>0.05$)。因此，云斑天牛的产卵刻槽、排粪孔和羽化孔的分布型均符合负二项分布，表现为聚集分布，即云斑天牛种群的卵、幼虫和蛹或成虫的分布型均符合负二项分布，表现为聚集分布。

从云斑天牛产卵刻槽、排粪孔和羽化孔的公共 K 值的大小看，产卵刻槽($K=2.48$)>排粪孔($K=2.02$)>羽化孔($K=1.04$)，这与产卵刻槽、排粪孔和羽化孔的观察所得平均密度的变化趋势是一致的，即产卵刻槽的密度最高，拥挤度最大，聚集度最大，排粪孔次之，羽化孔最小；这也与刻槽、排粪孔和羽化孔的统计所得的平均拥挤度的变化趋势一致，即产卵刻槽的密度最高，拥挤度最大，聚集度最大，排粪孔次之，羽化孔最小。这一变化趋势完全符合云斑天牛的种群发展生命曲线变化，由卵到幼虫到蛹和成虫的种群数量逐渐减少。

2.3 Iwao m^*-m 回归关系

对云斑天牛在杨树上产卵刻槽、排粪孔和羽化孔的 Iwao m^*-m 回归方程分别进行拟合并对回归关系进行方差分析，结果如下：产卵刻槽的空间 m^*-m 回归方程为 $m^*=3.05+1.00m$ ($r=0.98$)，对回归关系进行方差分析表明，产卵刻槽空间的回归关系极显著($F=71.66$，$P=0.0035<0.01$)；排粪孔的空间 m^*-m 回归方程为 $m^*=1.79+1.14m$ ($r=0.97$)，对回归关系进行方差分析表明，排粪

孔空间的回归关系极显著($F=50.43$，$P=0.0057<0.01$)；羽化孔的空间 m^*-m 回归方程为 $m^*=0.10+1.84m(r=0.99)$，对回归关系进行方差分析表明，羽化孔空间的回归关系极显著($F=208.91$，$P=0.0007<0.01$)。

结果表明，云斑天牛在杨树上的产卵刻槽、排粪孔和羽化孔的空间 m^*-m 的回归方程中均为 $\alpha>0$、$\beta>1$，均表现为聚集分布，即云斑天牛的卵、幼虫、蛹或成虫的分布均为聚集分布，分布的基本成分均为个体群。

2.4　Taylor 幂指数

对云斑天牛在杨树上产卵刻槽、排粪孔和羽化孔的 Taylor 幂指数聚集度指标作了分析，结果如下：产卵刻槽空间分布的 S^2 与 m 的回归直线方程为 $\lg S^2=0.48+1.18\lg m(r=0.97)$；排粪孔的回归方程为 $\lg S^2=0.45+1.11\lg m\ (r=0.94)$；羽化孔的回归方程为 $\lg S^2=0.31+1.54\lg m\ (r=0.99)$。

结果表明，云斑天牛在杨树上的产卵刻槽、排粪孔和羽化孔空间分布的 S^2 与 m 的回归直线方程中 b 值均大于 1，其空间格局均为聚集分布，即云斑天牛的卵、幼虫、蛹或成虫的分布均呈聚集分布。

2.5　聚集原因分析

昆虫种群在空间的聚集原因，既可能是由于受某些环境因素的影响，也可能是由于物种本身行为特性的聚集习性所致，应用 Blackith 的种群聚集均数(λ)，检验云斑天牛产卵刻槽的聚集原因，将产卵刻槽平均密度与聚集均数进行回归分析，得回归方程为 $\lambda=-1.58+0.97m(r=0.99)$，回归关系进行方差分析表明，回归关系极显著($F=149.65$，$P=0.0012<0.01$)；排粪孔的平均密度与聚集均数的回归方程为 $\lambda=-0.13+0.77m(r=0.98)$，回归关系进行方差分析表明，回归关系极显著($F=84.39$，$P=0.0027<0.01$)；羽化孔的平均密度与聚集均数的回归方程为 $\lambda=-0.08+0.62m(r=0.97)$，回归关系进行方差分析表明，回归关系极显著($F=87.87$，$P=0.0026<0.01$)；可见，云斑天牛的产卵刻槽、排粪孔和羽化孔的聚集均数随种群密度的增大而增大，即云斑天牛种群的卵、幼虫、蛹或成虫的聚集均数随种群密度的增大而增大。

根据 Blackith 的种群聚集均数(λ)判定标准，当 $\lambda<2$ 时，种群的聚集原因可能是由某些环境作用引起的，当 $\lambda\geqslant2$ 时，其聚集原因是由种群自身行为和环境因素中任一因子引起的。由表 3 可见，云斑天牛产卵刻槽、排粪孔和羽化孔的 5 个样地的聚集均数 λ 值部分大于2，部分小于2，这说明云斑天牛的卵、幼虫、蛹或成虫在杨树上的聚集原因除与云斑天牛成虫喜欢在树干上聚集产卵的习性和环境因素外，还与虫口密度有密切关系，随虫口密度的增大聚集原因与自身聚集产卵习性的关系越明显。

表 3　不同林地云斑天牛产卵刻槽、排粪孔和羽化孔的聚集均数(λ)

Table 3 Aggregation averages (λ) of *Batocera horsfieldi* oviposition incisions, frass holes and emergence holes in different forests

样地号 Stand no.	林地性质 Forest property	产卵刻槽 Oviposition incisions	排粪孔 Frass holes	羽化孔 Emergence holes
1	公路林 Highway forest	4.89	2.99	0.78
2	人工片林 Planted patch forest	0.50	0.57	0.34
3	人工片林 Planted patch forest	1.25	1.07	0.13
4	渠道 Channel forest	19.25	7.73	2.48
5	村庄林 Village forest	19.02	6.01	2.45

2.6　抽样技术

在抽样调查时，抽取多少样本数量，即可达到所需要的精度，因此需要确定最适抽样数。根据 Iwao 的统计方法，得知 m^*-m 回归方程的 α、β 值及平均密度 m，再给定允许误差 D 与置信概率90%相应的 t 值，$t=1.96$，根据公式 $N=(t/D)^2;\ (a+1)/m+\beta-1]$，将 $\alpha=3.05$、$\beta=1.00$ 代入，得云斑天牛的产卵刻槽在不同抽样允许误差下抽样数公式为：$N_{0.1}=1556.85/m+1.55$，$N_{0.2}=389.21/m+0.39$，$N_{0.3}=172.88/m+0.17$；将 $\alpha=1.79$、$\beta=1.14$代入，得云斑天牛的排粪孔在不同抽样允许误差下抽样数公式为：$N_{0.1}=1071.23/m+51.92$，$N_{0.2}=119.08/m+22.88$，$N_{0.3}=118.96/m+5.77$；将 $\alpha=0.10$、$\beta=1.84$ 代入，得云斑天牛的羽化孔在不同抽样允许误差下抽样数公式为：$N_{0.1}=421.77/m+322.72$，$N_{0.2}=105.44/m+80.68$，$N_{0.3}$

$=52.87/m+10.16$，根据上述公式即可获得云斑天牛的产卵刻槽、排粪孔和羽化孔在各种密度下的最适抽样数。

从表4～6可以看出，随着云斑天牛的产卵刻槽、排粪孔和羽化孔株均数量增加，所调查的样本数逐渐减少，但在相同的密度下，抽样数又随着允许误差的减少而提高。在实际调查中可根据人力与时间的情况选择相应的允许误差，并确定该调查地块的密度，然后查表确定详细调查时所需要的样方数。

表4 云斑天牛产卵刻槽在不同密度下最适抽样数

Table 4 The optimal sampling number in different densities of *Batocera horsfieldi* oviposition incision

允许误差 Allowance error	产卵刻槽的株均数量 Density of oviposition incision																			
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	35	40	45	50	55
0.1	780	391	261	196	157	131	113	99	88	79	72	66	61	57	53	46	40	36	33	30
0.2	195	98	65	49	39	33	28	25	22	20	18	17	15	14	13	12	10	9	8	7
0.3	87	43	29	22	17	15	13	11	10	9	8	7	7	6	6	5	4	4	4	3

表5 云斑天牛排粪孔在不同密度下最适抽样数

Table 5 The optimal sampling number in different densities of *Batocera horsfieldi* frass holes

允许误差 Allowance error	排粪孔的株均数量 Density of frass holes																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	20	25	30	35	40
0.1	1 123	588	409	320	266	230	205	186	171	159	149	141	134	128	123	105	95	88	83	79
0.2	142	82	63	53	47	43	40	38	36	35	34	33	32	31	31	29	28	27	26	26
0.3	125	65	45	36	30	26	23	21	19	18	17	16	15	14	14	12	11	10	9	9

表6 云斑天牛羽化孔在不同密度下最适抽样数

Table 6 The optimal sampling number in different densities of *Batocera horsfieldi* emergence holes

允许误差 Allowance error	羽化孔的株均数量 Density of emergence holes																			
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
0.1	1 166	744	604	534	491	463	443	428	416	407	399	393	388	383	379	375	372	370	367	365
0.2	292	186	151	133	123	116	111	107	104	102	100	98	97	96	95	94	93	92	92	91
0.3	116	63	45	37	31	28	25	23	22	21	20	19	18	18	17	17	16	16	16	15

2.7 序贯抽样

根据Iwao方法，设临界密度指标为m_o，其上下限计算公式为：$T_0(n) = nm_0 \pm t\sqrt{n[(\alpha+1)m_0+(\beta-1)m_0]}$。将每株杨树上产卵刻槽数量10个暂定为防治指标，即$m_o=10$，将m_o及$\alpha=3.05$、$\beta=1.00$值和$t=1.96$分别代入上式，得云斑天牛产卵刻槽的序贯抽样公式：$T_0(n) = 10n \pm 1.96\sqrt{40.93n}$；将每株杨树上排粪孔数量3个暂定为防治指标，即$m_0=3$，将$m_o$及$\alpha=1.79$、$\beta=1.14$值和$t=1.96$分别代入上式，得云斑天牛排粪孔的序贯抽样公式得公式：$T_0(n) = 3n \pm 1.96\sqrt{9.58n}$；将每株杨树上羽化孔数量2个暂定为防治指标，即$m_0=2$，将$m_0$及$\alpha=0.10$、$\beta=1.84$值和$t=1.96$分别代入上式，得云斑天牛产羽化孔的序贯抽样公式：$T_0(n) = 2n \pm 1.96\sqrt{5.56n}$。根据序贯抽样分析表(表6)，如果调查30棵杨树时，产卵刻槽累计达369个时需要进行防治，累计刻槽不足231个时，不需要进行防治；排粪孔累计达123个时需要进行防治，累计排粪孔不足57个时，不需要进行防治；羽化孔累计达85个时需要进行防治，累计羽化孔不足35个时，不需要进行防治。

当调查过程中云斑天牛的刻槽、排粪孔和羽化孔的累计数量在上下限之间，则往下继续增加抽样，当不易下结论时，通过公式$N_{max}=(t^2/d^2)[(\alpha+1)m_0+(\beta-1)m_0^2]$，确定最大抽样数，估计密度所允许的置信限，取$t=1$，$d=0.3$，将$\alpha=3.05$、$\beta=1.00$值代入，得产卵刻槽空间公式，得：$N_{max}=454.77$，即以产卵刻

槽为调查防治指标时杨树的最大抽样数为 455 棵；将 $\alpha = 1.79$、$\beta = 1.14$ 值代入，得排粪孔空间公式，得：$N_{max} = 106.47$，即以排粪孔为防治指标时杨树的最大抽样数为 107 棵；将 $\alpha = 0.10$、$\beta = 1.84$ 值代入，得羽化孔空间公式，得：$N_{max} = 61.73$，即以羽化孔为防治指标时杨树的最大抽样数为 62 棵。

表 7　云斑天牛产卵刻槽、排粪孔和羽化孔序贯抽样分析表

Table 7　Sequential sampling of *Batocera horsfieldi* oviposition incision, frass holes and emergence holes

抽样数 Sampling number	累计刻槽数 Accumulative amount of oviposition incisions		抽样数 Sampling number	累计排粪孔数 Accumulative amount of frass holes		抽样数 Sampling number	累计羽化孔数 Accumulative amount of emergence holes	
	上限 Upper limits	下限 Lower limits		上限 Upper limits	下限 Lower limits		上限 Upper limits	下限 Lower limits
5	78	22	5	29	1	5	20	0
10	140	0	10	49	11	10	35	5
15	199	101	15	68	22	15	48	12
20	256	144	20	87	33	20	61	19
25	313	187	25	105	45	25	73	27
30	369	231	30	123	57	30	85	35
35	424	276	35	141	69	35	97	43
40	479	321	40	158	82	40	109	51
45	534	366	45	176	94	45	121	59
50	589	411	50	193	107	50	133	67
55	643	457	55	210	120	55	144	76
60	697	503	60	227	133	60	156	84
65	751	549	65	244	146	65	167	93
70	805	595	70	261	159	70	179	101
75	859	641	75	278	172	75	190	110
80	912	688	80	294	186	80	201	119
85	966	734	85	311	199	85	213	127
90	1 019	781	90	328	212	90	224	136
95	1 072	828	95	344	226	95	235	145
100	1 125	875	100	361	239	100	246	154

3　讨论

空间分布型是云斑天牛种群的重要属性之一，是该种群在空间相对静止的分布状况，揭示了个体某一时刻的行为习性、诸环境因子对其迭加影响，以及空间结构异质性程度（徐汝梅和成新跃，2005），是云斑天牛的生物学特性与特定条件件相互作用、协同进化的结果。对云斑天牛的空间分布型进行研究，不仅可以提示其空间结构以及种群下的结构状况，而且对估计种群密度、确定某些试验统计数据和决定防治指标等都是必不可少的。

云斑天牛在我国 2 年发生 1 代，以幼虫和成虫在树干中越冬，整个世代中 90% 以上时间在树干中隐蔽生活，直接调查云斑天牛的种群数量难度较大。根据云斑天牛的危害特点，整个幼虫期只有 1 个排粪孔，羽化为成虫后蛀 1 个羽化孔钻出，因此，以排粪孔作为幼虫的调查指标，以羽化孔作为蛹或成虫的调查指标是准确可靠的。刻槽尽管有一定的空槽率，但卵都是产在刻槽内，卵的数量与刻槽的数量是正相关关系，因此用刻槽的数量作为云斑天牛卵的数量的调查指标是可行的。李友常等（1997）调查光肩星天牛 *Anoplophora glabripennis* 种群在杨树上空间格局时，就是以刻槽、排粪孔和羽

化孔的数量作为的卵、幼虫和成虫的调查指标的。

本研究首次研究了云斑天牛的卵、幼虫、蛹和成虫 4 个虫态在杨树上的空间分布型及抽样技术，通过 Iwao 序贯抽样的方法确定了云斑天牛的卵、幼虫、蛹或成虫需要防治时的虫孔密度。在生产中，产卵刻槽期是云斑天牛一生中最脆弱的时期，也是防治的一个关键期，此时可通过释放云斑天牛的卵寄生蜂进行生物防治，或通过捶击刻槽和涂抹农药来防治；幼虫期已蛀入木质部，对木材已造成较大危害，须及时防治。可在 1 ~ 3 龄幼龄幼虫期释放管氏肿腿蜂或川硬皮肿腿蜂，在 4 龄以上的较大个体发育期和蛹期释放花绒寄甲进行生物防治；也可采用堵虫孔或插毒签的方法防治。成虫期也是一个防治关键期，可利用成虫补充营养时喜食野蔷薇等一些植物嫩皮的特性，栽培这些植物作为诱饵源，集中处理这些植物，杀死成虫；也可利用成虫具有一定的趋光性的特点，设置其喜欢的特定波长的黑光灯诱杀成虫；也可通过人工捕捉、诱集，或在树干上喷洒“绿色威雷”触破式微胶囊剂来防治成虫。因此，依据本研究调查的刻槽、排粪孔和羽化孔 3 个指标所做出的序贯抽样防治虫口密度，对指导云斑天牛的防治有重要意义。

参 考 文 献 (References)

Kawai A, Haque MM, 2004. Distribution pattern of *Aculops lycopersici* (Massee) (Acari: Eriophyidae) in tomato leaf and estimation method for the population density on leaf. *J. Acarol. Soc. Jpn.*, 139 (1): 31 – 39.

Li YC, Xia NC, Tu QH, Luo YQ, Wen JB, 1997. A geostatistical analysis on spatial patterns of *Anoplophora glabripennis* in poplars. *Acta Ecologica Sinica*, 17(4): 393 – 401. [李友常，夏乃斌，屠泉洪，骆有庆，温俊宝，1997. 杨树光肩星天牛种群空间格局的地低统计学分析. 生态学报，17(4): 393 – 401]

Mei AH, 1997. Studies on spatial distribution and sampling technique of *Batocera horsfieldi*. *Entomological Knowledge*, 34(2): 94 – 95. [梅爱华，1997. 云斑天牛幼虫空间分布型及抽样技术. 昆虫知识，34(2): 94 – 95]

Naranjo SE, Flint HM, 1995. Spatial distribution of adult *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) in cotton and development and validation of fixed-precision sampling plans for estimating population density. *Environmental Entomology*, 24: 261 – 270.

Sun HX, Li Q, Zhang CB, Li HY, Zhang ZH, Wang Q, Shi ZH, Zhu ZR, 2007. Spatial distribution pattern of the common cutworm *Spodoptera litura* in greenhouse strawberry. *Journal of Fruit Science*, 24(5): 663 – 668. [孙红霞，李强，张长波，李红叶，张志恒，王强，施祖华，祝增荣，2007. 大棚草莓斜纹夜蛾的空间分布型. 果树学报，24(5): 663 – 668]

Wu KM, Zhang JQ, Dai FY, Xu EY, Tang WC, Shao CM, Ju XK, 1995. Studies on *Batocera horsfieldi* injury *Morus alba* and biological characteristic. *Acta Sericologica Sinica*, 21(3): 53 – 54. [吴开明，张建强，代方银，许恩远，唐万成，邵春明，鞠先奎，1995. 云斑天牛危害桑树及生物学特性研究. 蚕业科学，21(3): 53 – 54]

Xu RM, Cheng XY, 2005. Insect Population Ecology. Science Press, Beijing. 7 – 60. [徐汝梅，成新跃，2005. 昆虫种群生态学. 北京：科学出版社. 7 – 60]

Xu X, Li LY, Hong XY, Yuan YD, Wang DS, 2008. Study on spatial distribution pattern and sampling technique of *Aculops lycopersici*. *Acta Agriculturae Shanghai*, 24(3): 72 – 75. [许翔，李琳一，洪晓月，袁永达，王冬生，2008. 番茄刺皮瘿螨空间格局及抽样技术研究. 上海农业学报，24(3): 72 – 75]

Yang F, He DH, Zhang DZ, 2008. Studies on spatial distribution and sampling methods of *Bruchidius ptilinoides* Faharaeus and *Bruchophagus gtycelizae* Nikolskya. *Journal of Desert Research*, 28 (4): 712 – 716. [杨芳，贺达汉，张大治，2008. 甘草种子害虫的幼虫空间分布与抽样技术研究. 中国沙漠，28(4): 712 – 716]

Zhang F, Chen ZJ, Zhang SL, Zhao HY, 2006. Spatial distribution pattern of *Pontania dolichura* larvae and sampling technique. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 17(3): 477 – 482. [张锋，陈志杰，张淑莲，赵惠燕，2006. 柳厚壁叶蜂幼虫空间格局及抽样技术. 应用生态学报，17(3): 477 – 482]

Zhang SQ, Yang BX, Zheng LF, 1992. Studies on spatial distribution and population density estimation of *Batocera horsfieldi* Hope. *Journal of Hebei Forestry College*, (3): 210 – 213. [张世权，杨宝祥，郑丽芳，1992. 云斑天牛空间分布型与种群密度估计的研究. 河北林学院学报，(3): 210 – 213]

（责任编辑：袁德成）